

# INFLUENCIA DEL CICLO ENOS SOBRE LA PRECIPITACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE BETULIA, SAN VICENTE DE CHUCURÍ, ZAPATOCA Y GIRÓN, DEPARTAMENTO DE SANTANDER, COLOMBIA

María Carolina PINILLA y Carlos PINZÓN

*Grupo técnico Convenio Fundación Natura Colombia - ISAGEN E.S.P<sup>l</sup>*

**cpinilla@natura.org.co, omsa\_ra@yahoo.com, carlospinzonud@gmail.com**

## RESUMEN

Mediante el uso de herramientas estadísticas como el análisis compuesto y las pruebas de significancia, se determinó cómo se alteran los patrones de precipitación en los municipios de Betulia, Giron, Lebrija, Los Santos, San Vicente de Chucuri y Zapatoca en el departamento de Santander, durante la ocurrencia de las fases cálidas y frías del ciclo ENOS (El Niño – Oscilación del Sur).

El estudio se realizó con una base de datos, de quince estaciones meteorológicas, que contiene registros de precipitación de treinta años. De manera principal se estableció que durante los periodos “El Niño” y “La Niña” se altera significativamente la precipitación durante la temporada seca y se alcanzan déficits o excesos severos de lluvia según el fenómeno.

La información recopilada hace parte de la línea base del monitoreo climático en la zona aledaña al Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

**Palabras claves:** variabilidad climática, fenómenos El Niño - La Niña, precipitación, Santander.

## ABSTRACT

Applying statistical tools with the composite analysis and tests of significance, It was analyzed how local precipitation patterns in San Vicente de Chucuri, Betulia, Zapatoca and Giron, Santander, are affected by ENSO -El Niño La Niña events-

The analysis was made with a precipitation database of thirty years and fifteen weather stations. It was found that during El Niño or La Niña the average of precipitations patterns take a decrease or increase with high impacts in available rainfall (according with the event) especially in dry season.

This analysis is part of a program to monitoring climate around Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

**Keywords:** climate variability, ENOS phenomena El Niño - La Niña, precipitation patterns, Santander.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de variabilidad climática ocasionados por el ciclo ENOS (El Niño – Oscilación del Sur), con sus fases cálidas El Niño y frías La Niña, son la causa más importante de alteración

<sup>1</sup> Este artículo hace parte de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la línea base para el Convenio 46/3379, suscrito entre ISAGEN E.S.P. y FUNDACIÓN NATURA en el marco del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, el cual tiene por objeto desarrollar el “Programa para atender la percepción de la comunidad acerca de posibles cambios microclimáticos ocasionados por el embalse”

climática en la franja tropical del océano Pacífico. En Colombia sus dinámicas de ocurrencia e intensidad han tenido consecuencias principalmente en los patrones de precipitación, los cuales han afectado de diversa forma las actividades humanas, produciendo impactos socioeconómicos y ambientales de grandes proporciones (Montealegre y Pabón, 2000).

Los estudios encaminados al análisis de ocurrencia e impactos del ciclo ENOS en Colombia empezaron a tener relevancia en la década de los noventa, ya que luego de la ocurrencia del intenso fenómeno El Niño 1991–92 se evidenció la necesidad de conocer la dinámica climática que genera, con el fin de estructurar la planificación para prevenir y mitigar los impactos a nivel nacional y regional.

Desde entonces la comunidad científica nacional se ha dado a la tarea estandarizar metodologías estadísticas para analizar y pronosticar la variabilidad climática a nivel nacional o regional y establecer su relación con la ocurrencia del ciclo ENOS. Las metodologías empleadas se basan en índices estadísticos que bien pueden ser de carácter oceánico o atmosférico según las variables objeto de observación.

Los análisis de información pluviométrica histórica de Colombia realizados por el IDEAM indican que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias son causadas en parte, por la variabilidad climática interanual, relacionada con el ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, la cual han sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones del país (Pabon y Montealegre, 1997).

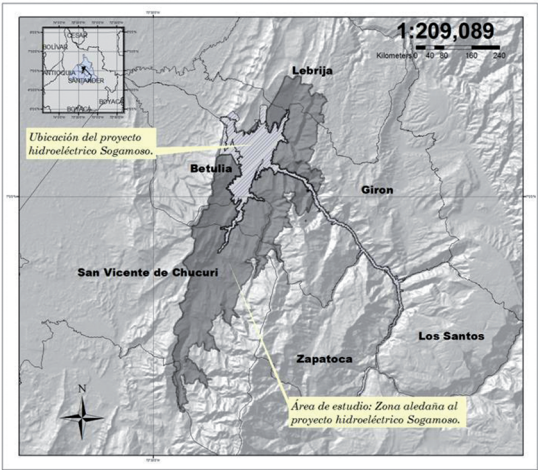
No obstante, autores como Poveda y Mesa (1993) y Enfield (1997) han demostrado que existen otros aspectos que posiblemente influyen en la variabilidad interanual de la lluvia en el norte de Sudamérica, como los relacionados con la variabilidad interanual del océano Atlántico.

Como El Niño y La Niña son fenómenos de carácter oceánico los índices utilizados para determinar sus características son de la misma naturaleza. En Colombia el IDEAM ha venido trabajando desde la década de los noventa con el análisis de índices como: Anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM), Índice oceánico del Niño (ONI), Anomalías de la temperatura subsuperficial del mar, el contenido de calor en la capa superior del océano y comportamiento de la termoclina, entre otros (CCO, 2000).

En éste artículo se presenta la metodología empleada para el análisis estadístico de datos históricos de precipitación en 15 estaciones climáticas ubicadas en inmediaciones de los municipios de Betulia, Giron, Lebrija, Los Santos, San Vicente de Chucuri y Zapatoca en el departamento de Santander, los cuales hacen parte de la zona de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Mediante técnicas para el análisis histórico de datos, de análisis compuesto, el uso del índice ONI, pruebas de contingencia y de significancia estadística se pudo establecer la ocurrencia y probabilidades de ocurrencia del ciclo ENSO en la mencionada área de estudio.

## 2. DATOS Y MÉTODOS

El Departamento de Santander está situado al noreste del país en la región Andina, entre los 05°42'34'' y 08°07'58'' de latitud Norte, y los 72°26' y 74°32' de longitud Oeste. Cuenta con una superficie de 30.537 km<sup>2</sup> que representa el 2.7% del territorio nacional. Actualmente en inmediaciones de los municipios de Betulia, Giron, Lebrija, Los Santos, San Vicente de Chucuri y Zapatoca se desarrolla la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, cuya entrada en operación está prevista para diciembre del 2013 (mapa 1).



MAPA 1. Ubicación del área de estudio en el contexto del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Fuente: SIG ISAGEN E.S.P. Elaborado: SIG Fundación Natura.

En esta zona se encuentran ubicadas alrededor de 15 estaciones meteorológicas del IDEAM, las cuales cuentan con series de datos de 35 años promedio (1975 – 2010). Vale la pena aclarar que la única estación de la zona que cuenta con registros de temperatura media, máxima y mínima es la del aeropuerto Palonegro, por lo tanto la variable empleada el análisis compuesto, las pruebas estadísticas y el análisis de variabilidad es la precipitación, la cual si posee registros en todas las estaciones (tabla 1). De acuerdo con lo anterior Montealgre y Pabon (2000) proponen que la precipitación es la variable que más refleja las manifestaciones del ciclo ENOS en Colombia.

Municipio	Nombre de la estación	Fecha instalación	MSNM	Zona Hidrográfica
Betulia	Puente La Paz	15/04/1979	180	Rio Sogamoso
Girón	Palo gordo	15/06/1967	950	Magdalena Medio
Girón	El Pantano	15/11/1967	1280	Magdalena Medio
Girón	Llano grande	15/07/1971	777	Magdalena Medio
Girón	La Parroquia	15/09/1959	267	Rio Sogamoso
Lebrija	La Laguna	15/05/1967	1050	Magdalena Medio
Lebrija	Palmas	15/11/1967	855	Magdalena Medio
Lebrija	El Naranjo	15/04/1971	825	Magdalena Medio
Lebrija	Aeropuerto palonegro	15/08/1974	1189	Magdalena Medio
Los Santos	La Mesa	15/11/1973	1460	Rio Sogamoso
San Vicente de Chucuri	San Vicente	15/04/1958	721	Rio Sogamoso
San Vicente de Chucuri	La Putana	15/07/1973	150	Rio Sogamoso
San Vicente de Chucuri	Albania	15/07/1973	300	Rio Sogamoso
Zapatoca	La Fuente	15/06/1973	815	Rio Sogamoso
Zapatoca	Zapatoca	15/06/1973	1810	Rio Sogamoso

TABLA 1: Descripción de las estaciones meteorológicas para la zona de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

El análisis exploratorio de los datos históricos de precipitación acumulada mensual y estacional se realizó mediante los Box Plot. Estos diagramas de caja basados en cuartiles proporcionan una visión general de la simetría en la distribución de los datos, son útiles para ver la presencia de valores atípicos y permiten una comparación paralela de la información.

Una vez establecidos los periodos de lluvia y periodos secos mediante el análisis de Box Plot se determinó, a través el análisis compuesto (AC), la relación entre los eventos ENOS (fenómenos El Niño y La Niña) y la variabilidad en los patrones de precipitación acumulada. El AC es básicamente una técnica de muestreo, basada en tablas de contingencia, que busca la probabilidad condicional de ocurrencia de un evento y su posible relación con la alteración de la precipitación en alguna estación meteorológica (NOAA, 2002; Alfaro, 2003). El AC usa la frecuencia climatológica entre una variable climática como la precipitación y un evento climático como La Niña o El Niño (Wilks, 1995; Montealegre, 2009).

Con el fin de establecer la ocurrencia de los eventos La Niña, El Niño y Neutros (este último episodio se refiere a la no presencia de fenómenos El Niño y La Niña en la cuenca del Pacífico) se realizó una revisión de las series del Índice Oceánico del Niño (ONI). Este índice es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la Región Niño 3-4 de la cuenca del Pacífico. De acuerdo con este índice, en condiciones El Niño o La Niña el valor debe ser igual ó superior (igual o inferior) a medio grado Celsius de anomalía.

Para efectos de este trabajo se obtuvo un nuevo valor de anomalía de ONI (ocurrencia de los episodios La Niña, El Niño y Neutros mediante promedios ponderados por trimestre) vs. los datos de precipitación acumulada en la zona de estudio. Una vez identificado los años y los trimestres de los escenarios La Niña, El Niño y Neutros mediante el índice ONI y los respectivos acumulados trimestrales de precipitación, se establecieron tres escenarios con base en los terciles de dichos valores: 1) Escenario fenómeno el Niño: con base en el tercil inferior que especifica la categoría “por debajo de lo normal”, correspondiente a un escenario seco, 2) Escenario Neutro: entre el tercil inferior y el tercil superior es llamado el escenario “normal” y 3) Escenario La Niña: basado en el tercil superior que individualiza la categoría “por encima de lo normal” y representa el escenario lluvioso.

Las probabilidades de ocurrencia de cada evento con respecto a los escenarios basados en los terciles se calculo mediante una tabla de probabilidad o tabla de contingencia. Una vez obtenidos éstos valores y teniendo en cuenta trabajos del IDEAM (Pabon y Montealegre, 1997 y 1998), se estableció que por encima del 60% la probabilidad de cambio en el patrón de precipitación es alta, mientras que por debajo del 60% la probabilidad de cambio es baja. Con el objeto de saber la relación entre los eventos ENOS y los valores acumulados de precipitación se aplicó la prueba ji-cuadrado ( $\chi^2$ ) de independencia para tablas de contingencia, en donde:

- $H_0$ : la probabilidad de ocurrencia de la precipitación es independiente de los eventos ENOS
- $H_1$ : la probabilidad de ocurrencia de la precipitación y los eventos ENOS esta relacionados.
- Para aceptar o rechazar la  $H_0$  se estableció que el valor crítico en la tabla ( $\chi^2$ ) es un P\_Value de  $\alpha = 0.05$  como nivel de significancia o representatividad estadística.

Finalmente, para la representación gráfica espacial de las mayores probabilidades de la ocurrencia de cada fenómeno se utilizo el método de interpolación IDW (Inversed Distance Weighted o de la distancia inversa ponderada). Sí bien ésta última metodología fue una parte importante del proyecto, para el presente artículo no se presentan dichos resultados (mapas de probabilidad de cambios en los patrones de precipitación).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de los diagramas de Box-Plot para la variabilidad mensual de la precipitación durante 1975 – 2010 mostró que la mayoría de estaciones presentan un régimen de lluvia bimodal que se caracteriza por presentar dos periodos lluviosos intercalados por dos secos. En general para la zona de estudio las lluvias acumuladas más altas ocurren en los meses de marzo – abril - mayo para el primer semestre, y septiembre - octubre - noviembre para el segundo semestre, mientras que las temporadas secas ocurren entre diciembre – enero – febrero y junio – julio - agosto. En las figuras 1 y 2 puede verse una muestra de los diagramas Box-Plot para dos de las quince estaciones analizadas, los cuales además de mostrar la tendencia multianual indican los años con precipitaciones acumuladas atípicas.

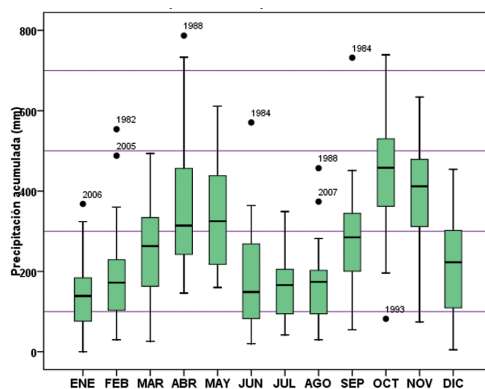


FIG. 1: Variabilidad mensual de la precipitación (mm) en la estación de Pte La Paz en Betulia durante los años 1979 – 2010.

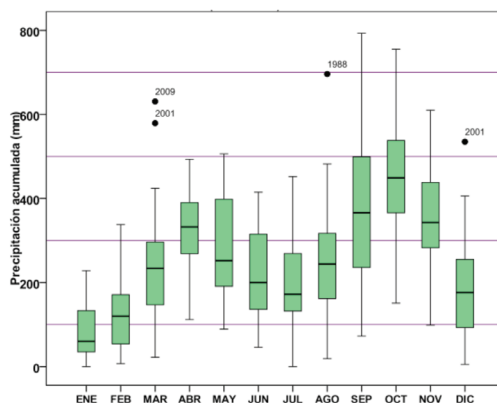


FIG. 2: Variabilidad mensual de la precipitación (mm) en la estación de La Putana en San Vicente de Chucuri durante los años 1973 – 2010.

Con base en el análisis histórico de datos y con la aplicación del índice ONI se pudo establecer que desde 1970 en la zona de estudio se han presentado 18 eventos de El Niño, de los cuales 6 han sido catalogados como fuertes (1970, 1972, 1982/83, 1991, 1997 y 2009). El impacto en la disminución de lluvias se muestra en la tabla 2.

Lugar/fecha	Valores de precipitación normal	Valores de precipitación bajo fenómeno El Niño
Lebrija, Septiembre 1971	130 mm	95 mm
Zapatoca, Octubre 1972	75 mm	50 mm
Girón, Septiembre 1983	90 mm	20 mm
Betulia, Octubre 1991	450 mm	80 mm
Lebrija, Septiembre 1997	145 mm	70 mm
San Vicente de Chucurí, Octubre 2009	280 mm	40 mm

TABLA 2: Descripción de los valores de precipitación mensual acumulada bajo condiciones normales vs. eventos El Niño.

En cuanto a la ocurrencia e impactos de eventos La Niña se pudo establecer que desde 1970 han ocurrido 14, de los cuales 6 han sido catalogados como fuertes en los años 1970, 1973, 1998/99, 2007 y 2010 (tabla 3).

Lugar/fecha	Valores de precipitación normal	Valores de precipitación bajo fenómeno El Niña
San Vicente de Chucurí, Octubre 1970	240 mm	580 mm
Girón, Noviembre 1973	170 mm	710 mm
Zapaptoca, Agosto 1998	100 mm	275 mm
Los Santos, Agosto 1999	28 mm	115 mm
Lebrija Octubre 2007	145 mm	325 mm
Betulia, Octubre 2010	420 mm	790 mm

TABLA 3: Descripción de los valores de precipitación mensual acumulada bajo condiciones normales vs. eventos La Niña.

3.1. Probabilidad de cambio para la precipitación acumulada bajo la influencia del fenómeno de “El Niño”

El análisis de la probabilidad de cambio para la precipitación acumulada bajo eventos de El Niño se presenta a continuación por temporada seca y lluviosa. Igualmente se hace referencia al impacto diferencial en 3 zonas fisiográficas del área de estudio: Noroccidental, central y Suroriental, las cuales presentan condiciones geomorfológicas y bioclimáticas diferentes.

Para la temporada seca correspondiente al trimestre diciembre – enero – febrero se encontró que efectivamente los eventos del El Niño tienen un impacto en la disminución de lluvias en porcentajes cercanos al 60% en la mayor parte del área de estudio. Sin embargo el impacto de este fenómeno es mayor en el trimestre Junio – Julio – Agosto, pues las probabilidades de disminución de lluvias están entre el 70 y 90% para la mayor parte de la zona de estudio.

Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos de El Niño
Diciembre – Enero – febrero	Noroccidente	60% por debajo de lo normal
	Centro	30 – 60% por debajo de lo normal
	Suroriente	Valores normales
Junio – Julio – Agosto	Noroccidente	90% por debajo de lo normal
	Centro	70% por debajo de lo normal
	Suroriente	40% por debajo de lo normal

TABLA 4: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporadas secas bajo eventos El Niño.

En cuanto al impacto de los eventos El Niño durante las temporadas lluviosas se encontró que en el primer trimestre hay una alta probabilidad de disminución lluvias en la mayoría de la zona de estudio; no obstante en sectores aislados hay un 40% de probabilidad de aumento de lluvias durante eventos El Niño. Durante el trimestre Septiembre – Octubre – Noviembre las probabilidades de disminución de lluvias están alrededor del 55% en promedio. Lo anterior permite inferir que durante las temporadas lluviosas no hay un impacto significativo en la disminución de la precipitación durante eventos El Niño, contrario al caso de la temporada seca donde la ocurrencia de eventos El Niño tiene un gran impacto en la probabilidad de disminución de las precipitaciones locales.

Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos de El Niño
Marzo – Abril – Mayo	Noroccidente	40% por encima de lo normal
	Centro	80% por debajo de lo normal
	Suroriente	40% por encima de lo normal
Septiembre – Octubre – Noviembre	Noroccidente	60% por debajo de lo normal
	Centro	60% dentro de lo normal
	Suroriente	50% por debajo de lo normal

TABLA 5: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporadas de lluvias bajo eventos El Niño.

### 3.2. Probabilidad de cambio para la precipitación acumulada bajo la influencia del fenómeno de “La Niña”

El análisis de la probabilidad de cambio para la precipitación acumulada bajo eventos de La Niña durante las temporadas secas revela que la tendencia en los dos trimestres es una alta probabilidad (entre el 60 y 90%) de aumento de lluvias en las diferentes zonas fisiográficas del área de estudio (tabla 6).



Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos de La Niña
Diciembre – Enero – febrero	Noroccidente	70% por encima de lo normal
	Centro	90% por encima de lo normal
	Suroriente	90% por encima de lo normal
Junio – Julio – Agosto	Noroccidente	60% por encima de lo normal
	Centro	90% por encima de lo normal
	Suroriente	60% por encima de lo normal

TABLA 6: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporadas seca bajo eventos La Niña.

De acuerdo con lo anterior se puede evidenciar que durante la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña, la temporada seca en la zona de estudio presenta una alta probabilidad de déficit o aumento de lluvias según el fenómeno. Este resultado concuerda con estudios realizados por el IDEAM (Montealegre, 2007) en donde se afirma que “el efecto de los fenómenos típicos El Niño sobre la precipitación estacional de la región Andina (especialmente Cundinamarca, Boyacá y Santander) es más acentuado durante las temporadas secas que en las lluviosas”.

Respecto al impacto en el aumento de la precipitación durante eventos La Niña en temporada de lluvias, se encontró que en toda el área de estudio las probabilidades de aumento de precipitación en el primer trimestre oscilan entre el 50%, mientras que para el segundo trimestre el impacto es mayor con una probabilidad del 90% (tabla 7).

Al comparar estos resultados con el estudio de Montealegre (2007) se encontró que al igual que su reporte para la zona Andina, cuando en el centro de Santander se registra un fenómeno típico La Niña, la segunda temporada lluviosa y las dos temporadas secas subsecuentes tienen una alta probabilidad de aumento de la precipitación. Igualmente este autor reportó que para el centro de Santander, cuando se presenta el fenómeno típico de La Niña hay una baja probabilidad de aumento de la precipitación en la primera temporada lluviosa, situación que también se refleja en los resultados de este trabajo.

Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos de La Niña
Marzo – Abril – Mayo	Noroccidente	40% por encima de lo normal
	Centro	40% por encima de lo normal
	Suroriente	70% por encima de lo normal
Septiembre – Octubre – Noviembre	Noroccidente	90% por encima de lo normal
	Centro	90% por encima de lo normal
	Suroriente	90% por encima de lo normal

TABLA 7: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporada lluviosa bajo eventos La Niña.



### 3.3. Probabilidad de cambio para la precipitación acumulada bajo episodios “Neutros”

Durante los años en que no se han presentado los fenómenos de La Niña o El Niño, las probabilidades de cambio en los patrones de precipitación presentan dos tendencias: i) en temporada seca hay una alta probabilidad de cambio a que los valores de precipitación aumenten en gran parte de la zona de estudio; ii) en temporada lluviosa tan solo la zona central del área de estudio tiende a presentar altas probabilidades de aumento de lluvias (tablas 8 y 9).

Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos Neutros
Diciembre – Enero – Febrero	Noroccidente	60% por encima de lo normal
	Centro	40% por encima de lo normal
	Suroriente	60% por encima de lo normal
Junio – Julio – Agosto	Noroccidente	30% por debajo de lo normal
	Centro	60% por encima de lo normal
	Suroriente	30% por encima de lo normal

TABLA 8: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporada seca bajo eventos Neutros.

Trimestre	Zona fisiográfica del área de estudio	Distribución probabilística de la lluvia bajo eventos Neutros
Marzo – Abril – Mayo	Noroccidente	30% por encima de lo normal
	Centro	60% por encima de lo normal
	Suroriente	30% por encima de lo normal
Septiembre–Octubre–Noviembre	Noroccidente	40% por encima de lo normal
	Centro	60% por encima de lo normal
	Suroriente	40% por encima de lo normal

TABLA 9: Porcentajes de la probabilidad de cambio para los valores de precipitación promedio en temporada lluviosa bajo eventos Neutros.

### 3.4. Prueba de significancia estadística

Tal como se mencionó en el apartado de materiales y métodos, con las tablas de contingencia que contienen los valores de precipitación acumulada por trimestre se trabajó una prueba de independencia chi-cuadrado con el fin de establecer la relación entre los valores de cambio en precipitación y la ocurrencia de eventos ENOS.

Se encontró que solo 4 estaciones presentan valores del P\_Value inferiores a 0.05 (tabla 10), lo cual quiere decir que la probabilidad de cambio de la precipitación y los eventos ENOS si están relacionados. No obstante en 11 de las 15 estaciones analizadas se obtuvo un P\_Value superior al 0.05 (tabla 10) lo cual indica desde el punto de vista estadístico, que los cambios de precipitación no tienen relación con la ocurrencia de eventos ENOS.

Nombre Estación	Prueba chi-cuadrado Dic-Ene-Feb	Prueba chi-cuadrado Mar-Abr-May	Prueba chi-cuadrado Jun-Jul-Agos	Prueba chi-cuadrado Sep-Oct-Nov
<b>Puente La Paz</b>	0,09	0,90	0,06	0,10
<b>Palo Gordo</b>	0,13	0,47	0,54	0,16
<b>El Pantano</b>	0,50	0,18	0,22	0,01
<b>Llano Grande</b>	0,19	0,28	0,90	0,29
<b>La Parroquia</b>	0,49	0,68	0,27	0,24
<b>La Laguna</b>	1,00	0,56	0,45	0,07
<b>Palmas</b>	0,62	0,52	0,09	0,13
<b>El Naranjo</b>	0,13	0,61	0,06	0,08
<b>Apto. Palonegro</b>	0,40	0,03	0,21	0,95
<b>La Mesa</b>	0,92	0,42	0,45	0,37
<b>San Vicente</b>	0,12	0,23	0,30	0,10
<b>La Putana</b>	0,32	0,76	0,15	0,08
<b>Albania</b>	0,03	0,55	0,06	0,76
<b>La Fuente</b>	0,23	0,97	0,09	0,23
<b>Zapatoca</b>	0,05	0,97	0,04	0,27

TABLA 10: *Prueba chi-cuadrado para los eventos ENOS y la probabilidad de ocurrencia de la precipitación acumulada por trimestre*

Con base en estos resultados puede afirmarse que estadísticamente los datos de cambio en la precipitación no tienen relación con la ocurrencia de eventos ENOS para la mayoría de las estaciones. Para efectos de este trabajo tal situación tiene dos posibles explicaciones: la primera está en relación con la calidad de la información de base, pues se trabajó con aproximadamente un 25% de datos faltantes sobre el total de la serie. De acuerdo con Poveda & Mesa (1993) para obtener una representación estadística importante, en estos estudios se debe trabajar con un mínimo del 10% de datos faltantes, lo cual explica la poca representatividad estadística en la mayoría de estaciones analizadas.

Sin embargo vale la pena aclarar que los datos de precipitación usados en este trabajo son los únicos disponibles para la zona de estudio y que por efectos metodológicos, no se trabajó con la técnica de llenado de datos para no distorsionar o alterar la información de base.

La segunda razón que permite discutir este resultado tiene que ver con la influencia de otros fenómenos de variabilidad climática que afectan al territorio nacional como el MJO (Madden Julian Oscillation) cuya oscilación atmosférica no fue tomada en cuenta en el análisis de variabilidad de éste trabajo, entre otros fenómenos de escalas planetaria, sinópticos y locales.

En síntesis, teniendo en cuenta que la estadística y sus métodos son muy rigurosos por la cantidad de datos que requieren, no se pudo establecer una relación representativa entre los eventos ENSO y los cambios en los valores de precipitación. Sin embargo al evaluar el estudio sin la metodología estadística, efectivamente se encontró la ocurrencia de cambios en los patrones de precipitación cuando se presentan fenómenos de El Niño, La Niña y Neutros, lo cual permite inferir que dichos eventos si tienen un impacto en el aumento o disminución de las lluvias en la zona de estudio.

#### 4. CONCLUSIONES

Con referencia a la metodología empleada es pertinente afirmar que el acertado tratamiento de la información permitió encontrar tendencias en los patrones de precipitación bajo la influencia del ciclo ENOS, los cuales ya habían sido reportados a nivel departamental pero no a nivel regional, situación que representa un aporte para comprender mejor la dinámica climática en la en centro de Santander.

Respecto a la significancia de la información es fundamental elaborar los análisis de representatividad con mínimo el 5 ó 10% de datos faltantes en las series históricas, ya que solo así se puede establecer de manera más acertada la relación estadística entre la variabilidad climática de los datos y la ocurrencia de eventos del ciclo ENOS. Aunado a lo anterior, teniendo en cuenta que la ocurrencia e intensidad del ciclo ENOS es muy variable en el tiempo, es muy difícil fijar un patrón estadístico para determinar las relaciones entre la variabilidad de la precipitación y el acontecer de eventos El Niño o La Niña.

Sobre los resultados obtenidos vale la pena mencionar que la distribución temporal de la precipitación mensual presenta una gran cantidad de datos atípicos por la influencia del doble paso de la ZCIT (Zona de Confluencia Intertropical) sobre la zona de estudio. Pese a que estadísticamente la mayoría de estaciones no presentaron un nivel de significancia importante para establecer relaciones entre la variabilidad de precipitación y la ocurrencia de los ciclos ENOS, en el análisis compuesto se encontró que si hay cambios en los volúmenes de lluvia cuando tienen lugar los fenómenos El Niño, La Niña e incluso, los Neutros.

De esta manera se concluye que la ocurrencia de los eventos “El Niño” alteran significativamente la disminución de la precipitación en las dos temporadas secas del año (especialmente el segundo trimestre) y en el primer trimestre de la temporada lluviosa. En cuanto al impacto de los eventos La Niña se encontró que el aumento de la precipitación ocurre tanto en temporada seca como el la de lluvias.

Los resultados en torno a los impactos durante los eventos Neutros son importantes puesto que no hay estudios reportados para Santander ni para la zona de estudio. En este orden de ideas es importante indicar que en los dos trimestres de la temporada seca hay una alta probabilidad que los valores de precipitación estén por encima de lo normal, lo cual tiene lógica sí se tiene en cuenta que durante los conocidos eventos Neutros, la dinámica de enfriamiento en el Pacífico ha tendido a mantenerse y por lo tanto, las lluvias ocasionales y por encima de lo normal permanecen durante el año subsecuente al evento de La Niña. A pesar de éstas tendencias, la ocurrencia de eventos Neutros se catalogó como tal porque durante el análisis de datos para las temporadas de lluvia, los valores de precipitación se mantuvieron en el promedio o con tendencias por debajo de lo normal.

#### *Agradecimientos*

Los aportes realizados en este artículo hacen parte de los resultados del Convenio 46/3379, suscrito entre ISAGEN E.S.P. y FUNDACIÓN NATURA COLOMBIA en el marco del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Los autores agradecen el apoyo financiero, administrativo y técnico brindado por ambas instituciones.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, P. 2003. Uso de una tabla de contingencia para aplicaciones climáticas. Proyecto apoyado por NOAA-OGP/USAID-OFDA – UNESCO. San José, Costa Rica, 47 pp.

- Comisión Colombiana del Océano – CCO. 2000. Programa integral y multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño – ERFEN. Comité Técnico Nacional del ERFEN. Bogotá, D.C., 87 pp.
- Enfield, D. 1997: Relationships of Inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophysical Research Letters*: 1-4.
- Montealegre J., & J. Pabon. 2000: La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*. 2: 7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Montealegre, J. 2007. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología. Bogotá, D.C, 81 pp.
- Montealegre, J. 2009. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología. Bogotá, D.C. 74 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2002. UCAR Program Scientist: Creating a Local Climate Product Using Composite Analysis. Online [Citado junio 2011]: <http://www.meted.ucar.edu/climate/composite/index.htm>
- Pabon, D. & E. Montealegre. 1997. Probabilidad de afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno El Niño, 1997. Nota Técnica IDEAM/METEO/002-97:1-39. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- Pabon, D. & E. Montealegre. 1998. Probabilidad de afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno La Niña. Nota Técnica IDEAM-METEO/ 008-98. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. 16 pp.
- Poveda, G. & O. Mesa. 1993. Metodologías para la predicción de la hidrología colombiana considerando el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). *Atmósfera* 20:26-39. Sociedad Colombiana de Meteorología, Bogotá.
- Wilks, D. 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences. International geophysics series, Academic press EE.UU, 238 pp.